

Авиационная и ракетно-космическая техника

УДК 330.341+519.863

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-3-92-103

Модели управления развитием распределенных технических систем*

Б.А. Горелов¹, А.Д. Давыдов¹, А.В. Силаев², А.В. Тихонов³

¹ Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), 125993, Москва, Российская Федерация, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, д. 4

² Научно-исследовательский институт организационно-экономических проблем МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

³ Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники, 105082, Москва, Российская Федерация, ул. Большая Почтовая, д. 22

Models for Managing the Development of Distributed Technical Systems

B.A. Gorelov¹, A.D. Davydov¹, A.V. Silaev², A.V. Tikhonov³

¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), 125993, Moscow, Russian Federation, GSP-3, A-80, Volokolamskoye Shosse, Bldg. 4

² Research Institute of Organizational and Economic Problems at Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

³ All-Russian Scientific and Research Institute of Radio Engineering, 105082, Moscow, Russian Federation, Bolshaya Pochtovaya St., Bldg. 22



e-mail: kaf505@mai.ru, addavydov1959@gmail.com, las@bmstu.ru, 8tat@mail.ru



В настоящее время все более широкое распространение получает модульный подход к созданию и эксплуатации технических систем. Однако различия в интерпретации и методах его реализации зачастую не оправдывают ожиданий заказчиков и разработчиков, что вызывает необоснованную критику модульного подхода, проектирования и стратегии. Эти различия отражаются опорными тенденциями в создании авиационных систем как распределенных технических систем, в различной мере реализующих принципы модульной стратегии. Сформированы вербальные модели создания, техноценотического развития и управления жизненным циклом распределенных технических систем. Данная работа проведена с целью выявления и оценки технико-экономической эффективности распределенных технических систем. В моделях отражена их специфика как открытых систем с переменным составом и структурой, распределенными в пространстве и времени. Использованы методы исследования операций и математического программирования при системном анализе формирования технических систем на принципах унификации и стандартизации и при анализе жизненного цикла таких систем. В качестве объекта исследования рассмотрены авиационные системы в их техноценотическом развитии. Результатом работы является совершенствование методического аппарата управления развитием распределенных технических систем и оценки их технико-экономической эффективности.

* Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-06-00235).

Ключевые слова: экономико-математические модели, распределенные технические системы, технико-экономическая эффективность

i Currently, a modular approach is being actively used to create and operate technical systems. There are significant differences in the interpretation and methods of implementation of the modular approach. As a result, the expectations of customers and developers often cannot be met, and this leads to unwarranted criticism of the modular approach, design and strategy. These differences are reflected in the reference trends in the development of aviation systems as distributed technical systems that utilize modular strategy principles to some degree. Verbal descriptions of models for the creation, technocenotic development and life cycle management of distributed technical systems are given. The purpose of this work is to establish and evaluate technical and economic efficiency of distributed technical systems. The models take into account the specifics of distributed technical systems as open systems having a variable composition and structure that are distributed in space and time. When performing a system analysis of formation of technical systems based on the principles of unification and standardization and analyzing the life cycle of such systems, methods of operation research and mathematical programming are used. Aviation systems in their technocenotic development are used as the research object. The result of the study was an improvement in the methodology of managing the development of distributed technical systems and evaluating their technical and economic efficiency.

Keywords: economical and mathematical models, distributed technical systems, technical and economic efficiency

Объективным следствием соперничества в создании современных ресурсоемких авиационных систем (АС) является придание нежелательной организуемой динамики их развития, что приводит к рискам снижения их целевой и экономической эффективности, а также к рискам рефлексивного управления во взаимодействии с оппонировающей стороной [1–3]. Этим обстоятельством обусловлены тенденции в создании авиационных и других технических систем как распределенных, например модульных систем.

Принцип модульного проектирования (МП) получил распространение в разных областях промышленности. Так, в кораблестроении МП служит одним из основополагающих нормативных принципов, учитываемых как при разработке вооружения кораблей [4], так и при их проектировании, например при эргономическом анализе проектов [5]. В работе [6] указано, что активное использование МП позволяет эффективно сочетать модернизацию существующего оружия с созданием новых образцов. В статье [7] показана эффективность принципа МП при разработке зенитных ракетно-пушечных комплексов, а в работе [8] — при создании бронетанковой техники. Широкую известность получила танковая система «Армата», которую можно рассматривать как модульную систему, построенную на универсальной платформе и имеющую в составе разные облики.

Модульная конструкция является характерной особенностью баллистических ракет подводных лодок третьего поколения, причем в работе [9] отмечена эффективная реализация их адаптивно-модульных свойств при создании и эксплуатации. При проектировании стрелкового оружия разработчики постоянно обращаются к принципу МП, используя его высокий потенциал [10]. Как модульное воздушное судно позиционируется самолет Clip-Air, предполагающий присоединяемые капсульные конструкции, — перспективный проект швейцарской Федеральной политехнической школы Лозанны [11].

В странах НАТО активно реализуются проекты в рамках Joint-программ, где также задействованы принципы МП. К их характерным примерам относятся программа JSF (Joint Strike Fighter), семейство малозаметных многофункциональных боевых самолетов пятого поколения F-35 как проект этой программы [12], управляемые бомбы JDAM (Joint Direct Attack Munition) [13], JSOW (Joint Stand-Off Weapon) [14] и управляемые ракеты (УР) JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile) [15]. Также следует отметить норвежские УР общего назначения JSM (Joint Strike Missile) и ударные УР военно-морских сил NSM (Naval Strike Missile), в качестве носителей которых реализованы или рассматриваются береговые противокорабельные комплексы, надводные корабли малого во-

доизмещения, подводные лодки, истребители и вертолеты [16].

О практическом значении принципа МП может свидетельствовать результат интернет-запроса в Google.Academia на термин «Modular Weapon System» с рабочего места авторов: 27 из 30 найденных источников являются патентами.

Также имеются технико-экономические оценки эффективности создания и эксплуатации модульных систем. В работе [17] авторы отмечают ряд показателей технико-экономической эффективности применения МП: уменьшение стоимости, занимаемого объема и массы изделия, увеличение дальности его стрельбы, гибкость и эффективность МП.

В целом разработчики и эксплуатанты ожидают от использования МП: сокращения затрат и циклов разработки новой техники в ОКР при оптимизации типажа систем оружия (СО); уменьшения затрат, номенклатуры и циклов изготовления подсистем-модулей; снижения расходов на эксплуатацию и выполнение типовых целевых операций; увеличения длительности цикла эксплуатации СО в условиях ускоренного морального износа; непрерывного качественного совершенствования управляемого ракетного вооружения при понижающемся уровне ресурсного обеспечения; сокращения затрат всех видов ресурсов на обеспечение реализации программ создания/развития без снижения потенциала целевого функционирования эксплуатирующих структур; повышения уровня мобильности и маневренности СО.

Однако различия в интерпретации и методах реализации модульного подхода зачастую не оправдывают ожиданий, что вызывает необоснованную критику как МП, так и создания систем на основе модульной стратегии развития. Концепция этой стратегии [17–21] предполагает возможность достижения значительных технико-экономических эффектов. Следует отметить, что частичной реализации способы достижения технико-экономических эффектов существенно различаются. Дифференциация этих способов позволяет рассматривать распределенные технические системы (РТС) с объективными различиями, особенностями и спецификой. С учетом этих особенностей целесообразно создавать модели управления развитием РТС для выявления обоснованных оценок технико-экономических эффектов.

Цель работы — формирование вербальных моделей создания, техноценотического развития и управления жизненным циклом РТС.

Модели. В попытках достижения ожидаемых технико-экономических эффектов наблюдаются тенденции развития АС (систем управляемого ракетного оружия (УРО) и СО), которые можно классифицировать следующим образом (табл. 1 и 2):

- *УР «скользящей новации»* — например, УР Х 31: {Х-31П, Х-31А, М-31; Х-31ПК, Х-31ПД, Х-31АД};

- *конвертируемые УР* — например, неуправляемая авиационная ракета (НАР) С-25 и УР С-25Л (ЛД), преобразуемые из неуправляемых ракет в управляемые и обратно;

- *модульные УР* — например, УР Х-25М, выпускавшаяся в разных обликах (Х-25МЛ, МП, МР, ...), а также УР Х-38, производимая в модификациях Х-38МЛ, МК, МТ, МА;

- *квазиуниверсальные УР* — например, по базированию УР Х-35, выпускаемая в вариантах авиационной и корабельной УР (ракетный комплекс (РК) «Уран») и УР подвижного берегового РК «Бал».

В основе указанных тенденций лежат разные подходы к декомпозиции АС. Наиболее часто встречаются три подхода, базирующиеся на блочно-модульном представлении. В первом блоки и модули являются базовыми и переменными, во втором — стабильными и подвижными, в третьем — различными по типам и классам.

В работе [18] предложен подход к декомпозиции систем на классы и типы модулей. Так, модульную УР обычно подразделяют на четыре класса (головка самонаведения (ГСН), боевая часть (БЧ), двигательная установка и аэромеханический модуль), а класс ГСН — на четыре типа (лазерная, телевизионная, тепловизионная, радиолокационная).

Характерными примерами, отражающими общность и различия подходов и приемов их реализации, являются, на наш взгляд, УР С-25 и Х-25М [19]. Изделие С-25 изначально создавалось как неуправляемая противотанковая ракета. Впоследствии для нее в разное время создавались различные ГСН.

Таким образом, систему можно представить как конвертируемую из неуправляемой ракеты в управляемую с различными обликами ГСН. Причем такую конвертацию можно

осуществить непосредственно в эксплуатации.

УР Х-25М разрабатывались как семейство управляемых ракет с использованием в НИОКР принципа МП с базовым аэромеханическим модулем с двигательной установкой и переменными (только на стадиях НИР и ОКР) модулями ГСН и БЧ. УР производились и передавались в эксплуатацию в целостном унитарном виде в разных обликах. Со временем семейство

пополнялось новым обликами с вновь разработанными модулями.

Такой подход позволяет рассматривать системы как декомпозированные по элементам или блокам по различным критериям, а элементы или блоки — как находящиеся на разных этапах и даже стадиях жизненного цикла. При этом система в соответствии с предназначением может быть целостно комплексирована за определенное время в определенном месте.

Таблица 1

Направления развития СО (управляемых ракет)

Тип УР	Направления развития
УР «скользящей новации»	<pre> graph TD X31["X-31 (AS-31 Cripton)"] --> X31P["X-31П"] X31P --> X31PK["X-31ПК"] X31P --> X31A["X-31А"] X31PK --> X31PD["X-31ПД"] X31A -.-> MA31["MA-31"] X31A --> X31AD["X-31АД"] </pre>
Конвертируемые	<pre> graph TD C25["C-25 (авиация сухопутных войск)"] --> NAR_C25["НАР С-25"] C25 --> UR_C25L["УР С-25Л"] UR_C25L --> NAR_C25 GSN["ГСН УР Х-25МЛ (BBC) «воздух-поверхность»"] --> UR_C25L </pre>
Модульные	<pre> graph TD X25M["X-25M(AS-10 Caren)"] --> X25ML["X-25МЛ"] X25M --> X25MA["X-25МА"] X25M --> X25MR["X-25МР"] X25M --> X25MT["X-25МТ"] X25M --> X25MP["X-25МП"] X25M --> X25MTB["X-25МТВ"] X25M --> X25MTP["X-25МТП"] Modules["Модули ГСН, Базовый модуль, Модули БЧ"] --> X25ML Modules --> X25MA Modules --> X25MR Modules --> X25MT Modules --> X25MP Modules --> X25MTB Modules --> X25MTP </pre>
Квазиуниверсальные	<pre> graph TD X35["Противокорабельная ракета Х-35 (AS-20 Сауак)"] --> ShipShip["«корабль-корабль» (ПК «Уран»)"] X35 --> AirShip["«воздух-корабль» (ПК «Уран»)"] ShipShip -.-> AirShip ShipShip -.-> BeachShip["«берег-корабль» (ПК «Бал»)"] AirShip -.-> BeachShip </pre>

Примечание. Обозначены стрелками: —> — необратимый переход; <--> — обратимый переход; <...> — переход в классе; -> — экспортная версия (мишень).

Таблица 2

Направления развития СО (ракетных комплексов) [7]

Тип РК	Направления развития
Квази-универсальные	
РК модульной конструкции	
Конвертируемые	
РК «скользящей новации»	
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. Используются следующие аббревиатуры: МБР — межконтинентальная баллистическая ракета; БРПЛ — баллистическая ракета подводной лодки; ШПУ — шахтная пусковая установка; ПРО — противоракетная оборона; ГЧ — головная часть; РГЧ — разделяющаяся головная часть; ДУ — двигательные установки; БЖРК — боевой железнодорожный ракетный комплекс.</p> <p>2. Обозначены линиями и стрелками: — переход/переключение в классе УР; — переход/переключение в виде УР; —> — необратимый переход; <-> — обратимый переход.</p>	

В обобщение представленных подходов можно представить распределенную АС как систему переменного состава и структуры, распределенную в пространстве (по месту создания и использования) и времени (на разных

этапах и стадиях жизненного цикла), декомпозированную по элементам и времени по различным признакам в зависимости от целей исследования или выбранного способа создания и эксплуатации системы [20, 21].

Перспективность создания распределенных АС рассматривается в контексте поиска путей эффективного демпфирования или парирования новых угроз в сознательно формируемой оппонентами высокодинамичной внешней среде. Оппоненты предполагают, что ответные меры будут иметь следствием нежелательные высокие темпы морального старения и неприемлемую ресурсоемкость. Понимание новых угроз находит отражение, например, в повышении значимости потенциала адаптивного развития СО. Формирование такого потенциала с объективной обусловленностью подтверждено практикой создания различных распределенных систем.

Вновь отметим, что различные оценки разработчиков и эксплуатантов относительно ожидаемых технико-экономических эффектов при создании и эксплуатации распределенных систем как научно-практического направления зачастую не получают подтверждения. Адекватная реализация основных положений и принципов создания и эксплуатации распределенных АС в виде системы моделей управления их развитием позволит повысить объективность оценок их технико-экономической эффективности. Такая система моделей даст возможность исследовать и реализовать военно-экономический потенциал перспективных РТС адекватно различным представлениям разработчиков и заказчиков. Предлагаемая система моделей есть система моделей создания, развития и управления жизненным циклом распределенных АС.

Модели создания РТС. Основные особенности модульных систем, приведенные в работах [20–22], позволяют сформировать адекватные особенностям и специфике концептуальные модели создания РТС, сочетающие в себе преимущества модульной, унитарной и смешанной стратегий развития. Назначением таких моделей (С1–С7) является исследование процессов нормативного и поискового проектирования как целостного системного процесса, реализующего переходы в создании технической системы от унитарной системы к РТС.

Модель С1. Реализация последовательной преемственности со стабилизацией элементов системы, например в виде тенденции скользящей новации для удачных образцов УРО или тенденции универсализации.

Модель С2. Выявление объективно подвижных элементов системы в условиях морального

износа для реализации эффективных условий взаимодействия с целью, например, в виде тенденции модульного УРО.

Модель С3. Стабилизация процессов создания со стандартизацией совместимости стабильных и подвижных элементов системы с реализацией формирования заново только подвижных элементов (модулей отдельных классов в семействах УРО), например в виде тенденции конвертируемого УРО.

Модель С4. Наращивание мощности множества подвижных переменных элементов системы при сохранении мощности множества стабильных базовых элементов с созданием соответствующих конструктивно-унифицированных рядов адекватно развитию системы.

Модель С5. Эволюция множества стабильных базовых элементов последовательным внесением в них изменений, например дополнением новых элементов или заменой на таковые.

Модель С6. Развитие концепции создания технической системы от образца к семейству и далее к системе с переменным составом и структурой в интересах эффективной реализации упреждающих решений как научно-технического задела.

Модель С7. Поэтапное наращивание многофункциональности элементов систем как системы машин с требуемой морфофункциональной избыточностью (техноценозом) для парирования угроз будущих периодов.

Содержанием нормативного проектирования в рассматриваемых условиях становится процесс создания технической системы на основе ряда нормативных требований, среди которых выделим следующие возможности:

- создание новых элементов в существующей системе машин при обязательном условии использования имеющихся подсистем, частей, агрегатов и модулей;
- обеспечение стандартной совместимости элементов системы (межмодульной совместимости) для достижения целостности системы машин;
- последовательное или параллельное создание и использование новых элементов (подсистем, частей, агрегатов, модулей) для данной системы в других системах в разное время.

Поисковое проектирование заключается в создании или развитии РТС как систем машин с ориентацией на оригинальные элементы для решения новых или расширения круга текущих задач. С этими процессами связано частное про-

ектирование модулей, под которым следует понимать создание основной базовой подсистемы или основного функционального элемента системы (модуля) с учетом окружающих его вспомогательных подсистем, что позволяет реализовать новую частную (локальную) функцию или расширить возможности действующих элементов системы. Такой процесс можно охарактеризовать как проектирование инварианта системы, новизна свойств которого обеспечивается преемственностью и перекрестностью ее элементов, а также их оригинальностью при соблюдении заданных условий внешней совместимости.

Другой значимый процесс — проектирование распределенных модульных систем — заключается в создании системы машин и формировании техноценоза в основном путем поиска, подбора, перекомпоновки существующих подсистем, частей, агрегатов и модулей в различных сочетаниях (возможно, с определенной доработкой элементов) для решения новых или расширения круга текущих задач. Такой процесс можно представить как проектирование системы с распределенной переменной структурой, включенной в состав перекрестной существующей или перспективной системы машин.

Дальнейшим развитием проектирования распределенных модульных систем является проектирование суперсистемы (большой системы машин), где предполагается становление и интенсивное развитие системы машин с максимальным разнообразием обликов разных типов РТС различных техноценозов на основе использования возможностей распределенной переменной структуры, например обратимого комплексирования и комбинаторных свойств помодульного агрегатирования. Это системный процесс проектирования как возможного, так и необходимого разнообразия обликов основных и вспомогательных систем разных типов при проектировании каждого нового элемента модуля хотя бы в одной системе машин.

Цель реализации предлагаемой модели создания РТС — формирование устойчивости развития систем на техноценогической основе через асимметрию адекватного отклика на возмущения внешней среды, определяемую развитыми адаптивными свойствами рассматриваемых систем.

Модели техноценогического развития РТС. Концепция развития техноценозов базируется на выявленной исторической закономерности с

последовательным проходом зоны унификации и выходом на обеспечение стабильности развития РТС с учетом основных положений и принципов концепции модульной стратегии РТС.

В моделях (P1–P6) необходимо отразить специфику развития РТС, определяемую вариантами проведения ОКР, на базе рассмотренных ранее моделей создания РТС.

Модель P1. Развитие РТС с последующей унификацией и нарастающим темпом в классе подсистем, модулей. Здесь предполагается появление единичных разрабатываемых как отъемных первичных элементов в классе подсистем с конструктивно-функциональной обособленностью и стандартной совместимостью с базовой частью системы, например, в модульном исполнении.

Модель P2. Развитие РТС с последующим наращиванием мощности множества типов отъемных первичных элементов или типажа первичного модуля РТС с выходом на конструктивно-унифицированный ряд систем. Модели P1 и P2 отражают вариант формирования элементарной РТС как базовой системы с сопряжением конструктивно-унифицированного ряда по базовой части (базовому модулю).

Модель P3. Развитие на основе диверсификации базовой системы с последовательным выходом на выделение элементов основных подсистем в конструктивно и функционально обособленные опорные классы подсистем со стандартизацией связей крайних элементов. Здесь предполагается формирование опорных классов базовой системы с последовательным расширением в них типажа элементов и обеспечением выхода на РТС с вариативностью, возможностью использования по различным назначенным типам целей, а также с вариативностью применения по типам носителей.

Модель P4. Развитие опорной РТС как техноценоза с унификацией типажей опорных классов подсистем-модулей с введением относительных стабильности и подвижности совокупностей классов подсистем-модулей при реализации во времени различных типажей РТС. Это вариант формирования РТС целесообразно рассматривать как опорный.

Модель P5. Развитие типажей и классов подсистем относительно автономно, где предусмотрена возможность развития типов подсистем разных классов уже не только для опорной РТС, но и для совокупности таких систем. Такое формирование подсистем в типажах клас-

сов можно охарактеризовать как формирование россыпью на разнообразии РТС.

Модель Р6. Развитие единичных подсистем в направлении либо расширения типажа подсистем в классах (или увеличение мощности множества), либо свертки типажа в классе (или уменьшение мощности множества). Здесь осуществляется формирование единичной подсистемы для разнообразия РТС.

Модели управления жизненным циклом РТС.

Исследуя основные составляющие военно-экономической среды и ее адекватизацию рассматриваемому явлению, отметим, что потенциал РТС предполагает адекватную реализацию их обобщенных свойств как высокотехнологичных технических систем.

Особенности и специфика становления и развития РТС определяются спецификой процессов ОКР, серийного производства и эксплуатации, позволяющих реализовать потенциал адаптивных свойств таких систем с учетом концепции модульной стратегии развития.

Возможности высвобождения такого потенциала (суть которого заключается в становлении и наиболее полном проявлении развитых разновидовых адаптивных свойств ценозов по стадиям жизненного цикла РТС) зависят прежде всего от распознавания их особенностей и специфики в адекватном становлении и развитии помодульно распределенных технических систем многоцелевого назначения и использования. Именно такие становление и развитие предопределены спецификой процессов ОКР (модель У1), серийного производства (модель У2), эксплуатации и утилизации (модель У3) модульных техноценозов СО.

Модель У1. На стадии ОКР основные особенности и специфика создания новых обликов РТС обусловлены возможностью разработки нового класса или типа модуля с его последующим синтезом в систему путем изготовления в опытном производстве и дальнейшей отработкой совместимости с другими ранее освоенными в серийном производстве модулями, возвратно поступающими в ОКР в виде отъемных обособленных (структурно и функционально) частей системы. Таким образом можно реализовать помодульное малоинерционное развитие систем и системообразований, что позволяет понимать под ОКР разработку уже не разных обособленных технических систем, а систем машин или взаимосвязанной и взаимообуслов-

ленной в развитии совокупности; не столько традиционное создание одного облика УРО, сколько создание определенной совокупности обликов или их семейства. Такую совокупность обликов следует принципиально проработать как целостность при разработке каждого нового модуля, что позволяет и абсолютно, и относительно сокращать и упорядочивать затраты ограниченных ресурсов. Появляется возможность существенно уменьшить сроки и затраты ОКР, повысить технический уровень разработки и надежности, сократить объем опытной партии и цикл испытаний.

Модель У2. Отметим принципиальные особенности и специфику реализации концепции РТС в серийном производстве, обусловленные прежде всего тем, что основой декомпозиции системы на подсистемы-модули является разделение производства и соответствующие структурные изменения в нем. Эти изменения имеют конструктивно-технологические предпосылки, закладываемые в будущие перспективные конструкции концепцией, помодульным построением и унификацией. Они направлены на развитие специализированного производства по агрегатно-модульному признаку и рост концентрации однородного производства; повышение уровня и качества кооперации с возрастанием серийности при одновременном сокращении номенклатуры подсистем-модулей основных видов продукции таких производств; увеличение разнообразия модульно-агрегируемых систем на ограниченном множестве подсистем-модулей. Важно также констатировать возможность отработки системы в серийном производстве по подсистемам-модулям с разделенной поставкой в эксплуатацию на соответствующие базы хранения, комплектации и распределения.

Модель У3. На стадии эксплуатации при реализации концепции РТС отметим ожидаемую специфику помодульного, по подсистемам хранения, регламентного обслуживания, ремонтов и приведения в состояние готовности систем к использованию по целевому назначению, замен по поддержанию и/или восстановлению целевой эффективности. Предполагается, что при отказах модулей, комплексированных в систему, восстановление ее работоспособности осуществляется прямой заменой модуля без ремонта. Впоследствии такой ремонт проводят централизованные службы эксплуатации или подразделения разработчика с применением их

производственной базы. На стадии утилизации РТС выделим специфику перевода систем в режим повторного использования или экспортного исполнения с заменой ведущих подсистем модульной конструкции, адаптированных к иному целевому применению, а также возможность вывода из состава действующей системы отдельных ее подсистем утилизацией или вторичным применением.

Выводы

1. В представленных моделях управления развитием РТС отражены особенности и специфика их создания и развития. В рассмотренном контексте выделим развитие:

- системы моделей управления:
 - от управления развитием образцов авиационной техники к управлению развитием АС как совокупностью систем и рядов машин, распределенных в пространстве и времени;
 - от управления развитием последовательно-поступательным процессом к управлению развитием возвратно-поступательным процессом;
 - от развития относительно последовательного и взаимозависимого по подсистемам к относительно параллельному и независимому по подсистемам;
 - с учетом возможности реализации обратимого перехода элементов распределенных систем из типа в тип, из класса в класс, из вида в вид АС в их традиционной классификации;
- системы нормативных требований в формировании тактико-технических требований от их традиционного формулирования в терминах «цели функционирования» к новому в терминах «цели развития»;
- специализации производства от предметной в составе корпораций, ориентированных на создание АС для видов и родов вооруженных сил, к помодульной, направленной также на создание подсистем на межвидовом уровне;
- ОКР от специализации по классам подсистем в совокупностях образцов к специализации по классам подсистем уже в системах;

- методических подходов:
 - при формировании государственной программы вооружения на создание АС от целостно-обособленной объектной структуры (образцы) к целостно-обособленной элементной (подсистемы, модули, агрегаты в АС);
 - при формировании государственной программы вооружения от технико-экономического и/или военно-экономического обоснования образцов к системе обоснования проектов и программ развития СО, распределенных в пространстве и времени;
 - при обосновании проектов и программ развития и формировании критериев выбора от линейной системы критериев стоимость–эффективность–время к иерархической системе критериев, включающей в себя такие признаки выбора, как техническая и технологическая реализуемость, зрелость научно-технических заделов, последствия;
 - при создании СО от традиционной замкнутой структуры жизненного цикла с модернизацией образцов и изготовлением их модификаций к разомкнутой структуре с возможностью совершенствования СО как РТС, развиваемых с переменной динамикой поэлементно, по подсистемам как в производстве (модернизацией и модификациями), так и в эксплуатации (заменой подсистем непосредственно в строю);
 - в организации поставок изделий как целостных финальных образцов СО, так и поэлементно (россыпью), что предполагает комплексирование обликов и образцов в требуемом количестве;
 - интегрированных структур оборонно-промышленного комплекса путем диверсификации.

2. Адекватное современным вызовам управление развитием АС предполагает формирование целостного комплекса экономико-математических моделей управления этим процессом, учитывающих современные тенденции их развития как РТС. В данной работе представлена опорная система таких моделей.

Литература

- [1] Буренок В.М., Печатнов Ю.А. О критериальных основах ядерного сдерживания. *Вооружение и экономика*, 2013, № 1(22), с. 21–30. URL: <http://www.viek.ru/22/21-30.pdf> (дата обращения 10 сентября 2017).

- [2] Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Полубехин А.И., Стукалин С.В. Система управления инновационным развитием вооружения и военной техники — основные недостатки и пути совершенствования. *Стратегическая стабильность*, 2014, № 3(68), с. 38–44.
- [3] Корчак В.Ю., Иваненков В.В., Вихров В.А. Инновационная основа разработки и производства новых поколений робототехнических комплексов. *Компетентность*, 2015, № 8(129), с. 53–55.
- [4] Александров Ю.И., Новиков А.В., Чугин О.И. Модульные системы вооружения. *Морская радиоэлектроника*, 2011, № 2, с. 5–11.
- [5] Нефедович А.В., Третьяков О.В. Эргономическое обеспечение модульного принципа проектирования. *Морской сборник*, 2012, № 2(1986), с. 32–35.
- [6] Щепцов А.В. Основные направления развития торпедного оружия для достижения современных требований к его тактико-техническим характеристикам. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/29452/1/ITE_2016_1_Shcheptsov_Ospovnyue.pdf (дата обращения 10 сентября 2017).
- [7] Юдаев А.В., Швыкин Ю.В., Игнатов А.В., Карпов Я.Ю. Комплексная автоматизация проектирования высокоточного оружия. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2015, № 7–1, с. 286–291.
- [8] Оксенич Н.В., Долженко И.Ю., Комар Ю.Е., Лебедев В.А., Беличенко А.В. Модульный принцип проектирования комплексов вооружения легкой бронетанковой техники. *Інтегровані технології промисловості*, 2014, вып. 3, с. 70–74.
- [9] Дегтярь Г.В., Канин Р.Н. Генеральный конструктор Виктор Петрович Макеев. *Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент*, 2015, т. 20, № 1(40), с. 146–153.
- [10] Писарев С.А., Чирков Д.В., Фархетдинов Р.Р., Фархетдинова Ю.С. О функционально-конструктивных возможностях боевого и гражданского стрелкового оружия модульной конструкции. *Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова*, 2016, № 3(71), с. 4–6.
- [11] Atasoy B., Salani M., Bierlaire M., Leonardi C. *Impact analysis of a flexible air transportation system*. URL: <http://infoscience.epfl.ch/record/196062> (дата обращения 10 сентября 2017).
- [12] Sullivan M.J. *F-35 Joint Strike Fighter: Preliminary Observations on Program Progress*. URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1005848> (дата обращения 10 сентября 2017).
- [13] Bell W.S. *Joint Direct Attack Munition (JDAM)*. URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1019464> (дата обращения 10 сентября 2017).
- [14] Halpern B.H. *Joint Small Arms Technology Development Strategy for Joint Service Small Arms Science and Technology Investments*. URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1004913> (дата обращения 10 сентября 2017).
- [15] Athearn C.B. *Joint Air-to-Surface Standoff Missile (JASSM)*. URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1019462> (дата обращения 10 сентября 2017).
- [16] Белкин В.Н. Боевые части современных авиационных средств поражения. *Авиационные системы*, 2016, № 1, с. 2–18.
- [17] Акиншин Р.Н., Дмитриев В.Г., Марков Н.М., Перунов Ю.М., Старожук Е.А. *История создания и тенденции развития современных боеприпасов и взрывателей*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 204 с.
- [18] Куприн И.Л., Давыдов А.Д., Селиванов С.Н. Модульная стратегия развития — системноэкономическая концепция интенсификации развития высокотехнологичных комплексов. *Вестник МГОУ. Серия: Экономика*, 2012, № 1, с. 78–85.
- [19] Марковский К., Перов В. *Советские авиационные ракеты «воздух-земля»*. Москва, Изд-во «Экспринт», 2006. 50 с.
- [20] Куприн И.Л., Давыдов А.Д., Виноградов С.М. Проблемы экономико-математического моделирования перспектив развития модульных ракетных комплексов. *Вестник Московского авиационного института*, 2010, № 4(17), с. 197–201.
- [21] Куприн И.Л., Тихонов И.П., Хрусталева О.Е. Концептуальные основы формирования перспективных стратегий инновационного развития высокотехнологичных комплексов. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 2013, № 16(205), с. 19–24.
- [22] Куприн И.Л., Давыдов А.Д., Теплов Ю.А. Опорные тенденции в развитии трансформируемых высокотехнологичных комплексов. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 2013, № 46(235), с. 20–30.

References

- [1] Burenok V.M., Pechatnov Iu.A. O kriterial'nykh osnovakh iadernogo sderzhivaniia [The criteria basis of nuclear deterrence]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and Economics]. 2013, no. 1(22), pp. 21–30. Available at: <http://www.viek.ru/22/21-30.pdf> (accessed 10 September 2017).
- [2] Korchak V.Iu., Tuzhikov E.Z., Polubekhin A.I., Stukalin S.V. Sistema upravleniia innovatsionnym razvitiem vooruzheniia i voennoi tekhniki — osnovnye nedostatki i puti sovershenstvovaniia [Control system of innovative development of armament and military equipment — main shortcomings and ways of improvement]. *Strategicheskaiia stabil'nost'* [Strategic Stability]. 2014, no. 3(68), pp. 38–44.
- [3] Korchak V.Iu., Ivanenkov V.V., Vikhrov V.A. Innovatsionnaia osnova razrabotki i proizvodstva novykh pokolenii robototekhnicheskikh kompleksov [Innovative Basis of Development and Production of new Generations of Robotic Complexes]. *Kompetentnost'* [Competence]. 2015, no. 8(129), pp. 53–55.
- [4] Aleksandrov Iu.I., Novikov A.V., Chugin O.I. Modul'nye sistemy vooruzheniia [Modular weapon systems]. *Morskaia radioelektronika* [Marine Radio-electronics]. 2011, no. 2, pp. 5–11.
- [5] Nefedovich A.V., Tret'iakov O.V. Ergonomicheskoe obespechenie modul'nogo printsipa proektirovaniia [Ergonomic support of the modular design principle]. *Morskoii sbornik* [Marine collection]. 2012, no. 9(1986), pp. 32–35.
- [6] Shcheptsov A.V. *Osnovnye napravleniia razvitiia torpednogo oruzhiia dlia dostizheniia sovremennykh trebovaniy k ego taktiko-tekhnicheskim kharakteristikam* [Main perspectives of torpedo weapons development to achieve contemporary requirement to its tactical and technical characteristics]. Available at: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/29452/1/ITE_2016_1_Shcheptsov_Osnovnye.pdf (accessed 10 September 2017).
- [7] Iudaev A.V., Shvykin Iu.V., Ignatov A.V., Karpov Ia.Iu. Kompleksnaia avtomatizatsiia proektirovaniia vysokotochnogo oruzhiia [Complex automation design of high-precision weapons]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the TSU. Technical sciences]. 2015, no. 7–1, pp. 286–291.
- [8] Oksenich N.V., Dolzhenko I.Iu., Komar Iu.E., Lebedev V.A., Belichenko A.V. Modul'nyi printsip proektirovaniia kompleksov vooruzheniia legkoi bronetankovoi tekhniki [The modular design of weapon systems of light armored vehicles]. *Integrovani tekhnologii promislivosti* [Integrated technology industry]. 2014, is. 3, pp. 70–74.
- [9] Degtiar' G.V., Kanin R.N. General'nyi konstruktor Viktor Petrovich Makeev [General Designer Viktor Petrovich Makeev]. *Aktual'nye problemy aviatsionnykh i aerokosmicheskikh sistem: protsessy, modeli, eksperiment* [Actual problems of aviation and aerospace systems: processes, models, experiment]. 2015, vol. 20, no. 1(40), pp. 146–153.
- [10] Pisarev S.A., Chirkov D.V., Farkhetdinov R.R., Farkhetdinova Iu.S. O funktsional'no-konstruktivnykh vozmozhnostiakh boevogo i grazhdanskogo strelkovogo oruzhiia modul'noi konstruktssii [About the Functional and Design Capabilities of Military and Civil Modular Small Arms]. *Vestnik IZhGTU im. M.T. Kalashnikova* [Bulletin of Kalashnikov ISTU]. 2016, no. 3(71), pp. 4–6.
- [11] Atasoy B., Salani M., Bierlaire M., Leonardi C. *Impact analysis of a flexible air transportation system*. Available at: <http://infoscience.epfl.ch/record/196062> (accessed 10 September 2017).
- [12] Sullivan M.J. *F-35 Joint Strike Fighter: Preliminary Observations on Program Progress*. Available at: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1005848> (accessed 10 September 2017).
- [13] Bell W.S. *Joint Direct Attack Munition (JDAM)*. Available at: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1019464> (accessed 10 September 2017).
- [14] Halpern B.H. *Joint Small Arms Technology Development Strategy for Joint Service Small Arms Science and Technology Investments*. Available at: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1004913> (accessed 10 September 2017).
- [15] Athearn C.B. *Joint Air-to-Surface Standoff Missile (JASSM)*. Available at: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=AD1019462> (accessed 10 September 2017).
- [16] Belkin V.N. Boevye chasti sovremennykh aviatsionnykh sredstv porazheniia [Combat units of modern aviation weapons]. *Aviatsionnye sistemy* [Aviation systems]. 2016, no. 1, pp. 2–18.
- [17] Akinshin R.N., Dmitriev V.G., Markov N.M., Perunov Iu.M., Starozhuk E.A. *Istoriia sozdaniia i tendentsii razvitiia sovremennykh boepripasov i vzryvatelei* [The history and

- development trends of modern ammunition and fuses]. Moscow, Bauman Press, 2013. 204 p.
- [18] Kuprin I.L., Davydov A.D., Selivanov S.N. Modul'naya strategiya razvitiia — sistemoekonomicheskaya kontseptsiiia intensivatsii razvitiia vysokotekhnologichnykh kompleksov [Modular development strategy — system economic concept of intensifying high-tech complex development]. *Vestnik MGOU. Seriya: Ekonomika* [Bulletin MSRU. Series: Economics]. 2012, no. 1, pp. 78–85.
- [19] Markovskii K., Perov V. *Sovetskie aviatsionnye rakety «vozdukh-zemlia»* [Soviet air-to-surface missiles]. Moscow, Eksprint publ., 2006. 50 p.
- [20] Kuprin I.L., Davydov A.D., Vinogradov S.M. Problemy ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniia perspektiv razvitiia modul'nykh raketnykh kompleksov [Problems of economic-mathematical modeling development prospects of the modular missile complexes]. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta* [Vestnik MAI]. 2010, no. 4(17), pp. 197–201.
- [21] Kuprin I.L., Tikhonov I.P., Khrustalev O.E. Kontseptual'nye osnovy formirovaniia perspektivnykh strategii innovatsionnogo razvitiia vysokotekhnologichnykh kompleksov [Conceptual basis for the formation of promising strategies for innovative development of high-tech systems]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: priorities and security]. 2013, no. 16(205), pp. 19–24.
- [22] Kuprin I.L., Davydov A.D., Teplov Iu.A. Opornye tendentsii v razvitiia transformiruemykh vysokotekhnologichnykh kompleksov [Supporting trends for transformable high-tech complexes]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: priorities and security]. 2013, no. 46(235), pp. 20–30.

Статья поступила в редакцию 12.12.2017

Информация об авторах

ГОРЕЛОВ Борис Алексеевич (Москва) — кандидат экономических наук, проректор по экономике и финансам, заведующий кафедрой «Экономика инноваций и управление проектами». Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (125993, Москва, Российская Федерация, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, д. 4, e-mail: kaf505@mai.ru).

ДАВЫДОВ Алексей Дмитриевич (Москва) — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика инноваций и управление проектами». Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (125993, Москва, Российская Федерация, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, д. 4, e-mail: addavydov1959@gmail.com).

СИЛАЕВ Александр Витальевич (Москва) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Научно-исследовательский институт организационно-экономических проблем МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: las@bmstu.ru).

ТИХОНОВ Антон Владимирович (Москва) — экономист. Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники (105082, Москва, Российская Федерация, ул. Большая Почтовая, д. 22, e-mail: 8tat@mail.ru).

Information about the authors

GORELOV Boris Alekseevich (Moscow) — Candidate of Science (Econ.), Pro-Rector for Economics and Finance, Head of Department, Economics of Innovations and Project Management. Moscow Aviation Institute (National Research University) (125993, Moscow, Russian Federation, GSP-3, A-80, Volokolamskoye Shosse, Bldg. 4, e-mail: kaf505@mai.ru).

DAVYDOV Aleksey Dmitrievich (Moscow) — Candidate of Science (Econ.), Associate Professor, Department of Economics of Innovations and Project Management. Moscow Aviation Institute (National Research University) (125993, Moscow, Russian Federation, GSP-3, A-80, Volokolamskoye Shosse, Bldg. 4, e-mail: addavydov1959@gmail.com).

SILAEV Aleksandr Vitalievich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Lead Researcher. Research Institute of Organizational and Economic Problems at Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: las@bmstu.ru).

TIKHONOV Anton Vladimirovich (Moscow) — Economist. All-Russian Scientific and Research Institute of Radio Engineering (105082, Moscow, Russian Federation, Bolshaya Pochtovaya St., Bldg. 22, e-mail: 8tat@mail.ru).